● مجلهٔ دانشگاه علوم پزشکی کرمان، دورهٔ هجدهم، شمارهٔ ۳، ص ۲۸۵-۲۷۹، ۱۳۹۰

مقالهٔ پژوهشی

میزان آهنگ دوز مؤثر ناشی از گاز رادون درچشمه آب گرم جوشان واقع در استان کرمان

سید مهدی‌هاشمی*[1]، **علی نگارستانی**[2]

خلاصه

مقدمه: انسان در طول عمر خود پیوسته در معرض پرتوهای مختلفی قرار می‌گیرد و همواره تابش یک خطر بهداشتی بالقوه به‌حساب می‌آید. گاز رادون و دخترانش منابع عمده تابش‌های طبیعی می‌باشند و میزان قابل توجهی از دریافت دوز استنشاقی را به خود اختصاص داده‌اند. از این‌رو اندازه‌گیری فعالیت رادون در طبیعت پیرامون و محیط زندگی از اهمیت روز افزونی برخوردار است. در این تحقیق با اندازه‌گیری غلظت گاز رادون، دوز مؤثر ناشی از استنشاق هوای داخل استخر در مجموعه آب گرم جوشان محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت.

روش: در این کار باتوجه به پروتکل‌های آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا و با استفاده از آشکارساز اکتیو رادون نوع RAD7 غلظت گاز رادون هوای داخل فضای استخر مجموعه آب گرم جوشان اندازه‌گیری و دوز مؤثر برای افرادی که در مدتی معین هوای داخل فضای این استخر را استنشاق می‌کنند محاسبه شده است.

یافته‌ها: غلظت گاز رادون درون هوای استخر مورد نظر برابر ۹۸/۳±۴/۹ بکرل بر مترمکعب به‌دست آمد. بنابراین برای یک شخص که دو بار در هفته و هر بار مدت دو ساعت در محیط این استخر می‌ماند آهنگ دوز مؤثر، در اثر استنشاق رادون برابر با ۰/۰۶±۰/۰۰۳ میلی سیورت در سال محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: با مقایسه این دوز با دو مرجع استاندارد انجمن فیزیک بهداشت و درمان و آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا در مورد آستانه خطرپذیری برای دوز مؤثر دریافتی، نتیجه می‌گیریم که برای افرادی که به‌طور معمول از استخر آب مجموعه آب گرم جوشان استفاده می‌کنند دوز به‌دست آمده در محدوده مقدار توصیه شده قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: غلظت رادون، آهنگ دوز مؤثر، استنشاق هوا، فضای بسته، چشمه آب گرم جوشان

۱- کارشناس ارشد فیزیک هسته‌ای، مرکزبین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ۲- استادیار مهندسی هسته‌ای، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی و دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان

* **نویسنده مسؤول، آدرس:** کرمان، انتهای اتوبان هفت باغ، پردیس دانش ماهان، مرکزبین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ● **آدرس پست الکترونیک:** hashemi.phy1@gmail.com

دریافت مقاله ۱۳۸۹/۱/۱۴ **: دریافت مقاله اصلاح شده :** ۱۳۸۹/۸/۵ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۹/۸/۲۰

مقدمه

بعد از کشف عناصر رادیواکتیو و آشنایی با فعل و انفعالات هسته‌ای و خواص مختلف پرتوها، موضوع اثرات پرتوها بر طبیعت به‌ویژه موجودات زنده و محیط زیست مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است (۱). انسان در طول عمر خود پیوسته در معرض پرتوهای مختلفی قرار می‌گیرد از این‌رو تابش، یک خطر بهداشتی بالقوه به‌حساب می‌آید. به‌طور کلی خطرات ناشی از مواد رادیواکتیو به دو دسته خطرات ناشی از تابش خارجی و تابش‌های داخلی تقسیم می‌شوند. مقدار تابش خارجی بستگی به طبیعت تابش، قدرت چشمه و زمان پرتوگیری دارد. در تابش‌های داخلی نفوذ مواد رادیواکتیو از راه‌های مختلف به درون بدن و واپاشی آنها داخل بدن مورد توجه قرار می‌گیرد. پرتوها در بدن انسان یون‌سازی کرده و باعث به‌وجود آمدن پدیده‌هایی می‌گردند که پس از چندین سال عوارض آن آشکار می‌گردد. ممکن است این پدیده‌ها باعث ایجاد اختلالاتی در کروموزوم گردد که در این صورت ناهنجاری‌های ژنتیکی را به‌دنبال خواهد داشت (۲). از این‌رو سنجش و بررسی میزان دوز دریافتی افراد جامعه ناشی از وجود عناصر رادیواکتیو طبیعی و مصنوعی در محیط پیرامون از جمله خاک، هوا و آب و بررسی اثرات زیست‌محیطی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این راستا به‌طور مداوم نتایج اندازه‌گیری‌های دوز پرتوی دریافتی افراد در بیشتر کشورها اعلام می‌گردد (۳،۴).

رادون یکی از مهم‌ترین منابع پرتوگیری به‌شمار می‌آید و بررسی آن در طبیعت پیرامون و محیط زندگی نقش مهمی در محاسبه پرتوگیری افراد دارد (۵). رادون یک گاز طبیعی و بی‌بو، بی‌رنگ، بی‌مزه و غیرمحسوس توسط حواس و از نظر شیمیایی بی‌اثر است که به‌طور مداوم از واپاشی طبیعی 238U، 235U و 323Th به‌دست می‌آید (۶). بر طبق گزارش کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر پرتوها (ICRP) رادیو ایزوتوپ 222Rn تولید شده از واپاشی 238U منبع اصلی (تقریبا ۶۵ درصد) تابش‌های داخلی در زندگی بشر بوده و بیش از نیمی از دوز جذبی طبیعی در افراد ناشی از رادون می‌باشد (۷). از آنجا که گاز بی‌اثر رادون-۲۲۲ در مایعات بدن حلالیت کمی دارد به‌طور یکنواخت در بدن پخش می‌شود و ضمن تابش ذره آلفا(α)، با نیمه عمر ۳/۸ روز به یک سری از عناصر کوتاه عمر که به آنها دختران رادون می‌گویند، همانند 218Po و 214Po واپاشی می‌کند. پولونیم ۲۱۸ (نیمه عمرسه دقیقه) و پولونیم ۲۱۴ (نیمه عمردو دهم میلی ثانیه) ذرات جامدی می‌باشند که به‌عنوان خطرهای مؤثر بیولوژیکی به‌حساب می‌آیند (۸). هنگامی که این محصولات رادیواکتیو در ریه به دلیل استنشاق و واپاشی رادون تولید می‌شوند، خود بعد از مدتی واپاشی می‌کنند و با تابش ذرات آلفا با انرژی بالا، باعث تخریب مولکول‌های DNA و تولید رادیکال آزاد می‌گردند (۳). این واقعیت که رادون یکی از عوامل ابتلا به سرطان ریه می‌باشد از مدت‌ها پیش مورد مطالعه قرار گرفته است به‌طوری‌که در برخی از کشورها از جمله آمریکا رادون پس از سیگار، دومین عامل اصلی سرطان ریه معرفی شده است (۹،۱۰).

ازجمله مباحث قابل تحقیق درچشمه‌های آب گرم، بررسی احتمال پرتوزایی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها می‌باشد. دمای بالای آب چشمه‌های گسلی علاوه بر وجود منشأ آتشفشانی می‌تواند ناشی از واکنش‌های حرارت‌زا مانند واکنش‌های هسته‌ای و حرکات ارتعاشی گسل‌های مربوط به چشمه نیز باشد. این چشمه‌ها در اثر نفوذ آب‌های سطحی در امتداد شکستگی و گسل‌ها و گرم‌شدن در اعماق و سپس صعود به سطح زمین پدید می‌آیند. در طی این فرایند، آب‌های این چشمه‌ها پس از عبور از لایه‌های مختلف درونی، حرارت و املاح آنها را به‌خود گرفته و پس از حرکت از شکاف‌ها و طبقات قطع شده و یا گسل‌ها درنهایت از محلی مناسب سرچشمه می‌گیرند (۱۱). با توجه به موقعیت چشمه آب گرم جوشان

و نزدیکی آن به شهر کرمان و استفاده تعداد زیادی از افراد به‌ویژه مردم منطقه از این چشمه، ضرورت اندازه‌گیری غلظت گاز رادون و محاسبه دوز دریافتی افراد در محل این چشمه مورد توجه قرار گرفت. مجموعهٔ آبگرم جوشان در ۵۰ کیلومتری جنوب‌شرق کرمان، شامل شش مظهر چشمه، با فاصلهٔ کم از یکدیگر است که در منطقه‌ای به‌شدت گسلش یافته، بر روی گسل گوک، در سطح ظاهر شده‌اند. دمای بالای آب (۴۵ درجهٔ سانتیگراد)، تأیید کنندهٔ بالا بودن فعالیت تکتونیکی منطقه می‌باشد. آب چشمه‌های موجود دراین مجموعه توسط لوله‌های آب به داخل دو استخر سرپوشیده و مشابه هدایت می‌شود.

در این تحقیق با استفاده از آشکار ساز اکتیو رادون نوع RAD7 غلظت گاز رادون هوای داخل فضای یکی از استخرهای مجموعه آب گرم جوشان اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه‌های محاسبه آهنگ دوز مؤثر گاز رادون، دوز مؤثر به‌صورت تجربی برای افرادی که در مدتی معین هوای داخل فضای این استخر را استنشاق می‌کنند محاسبه شد.

روش بررسی

اندازه‌گیری غلظت گاز رادون

بر طبق پروتکل‌های ارائه شده از طرف آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)، برای اندازه‌گیری غلظت گاز رادون درون یک محیط بسته با استفاده از آشکار سازهای فعال (اکتیو)، مدت زمان ۲۴ ساعت اندازه‌گیری پیوسته غلظت گاز رادون الزام شده است (۱۲). از این‌رو در این کار به مدت ۲۴ ساعت غلظت گاز رادون هوای داخل استخر مجموعه آب گرم جوشان با استفاده از آشکارساز اکتیو رادون نوعRAD7 اندازه‌گیری شد. آشکارسازی ذرات آلفا و اندازه‌گیری انرژی آنها ناشی از واپاشی رادون و یونش ایجاد شده توسط این ذرات در نیمه هادی‌ها اساس کار آشکارساز RAD7 را تشکیل می‌دهد. در این روش هوای داخل استخر به‌وسیله پمپ آشکارساز بعد از عبور از محفظه محتوی رطوبت‌گیر وارد آشکارساز شده و غلظت گاز رادون در هوا بر حسب بکرل بر مترمکعب اندازه‌گیری می‌شود. بلورهای کلرید کلسیم که توانایی جذب رطوبت را دارند، به‌عنوان عامل رطوبت‌گیر مورد استفاده قرار گرفتند. آشکارساز به گونه‌ای تنظیم شد تا در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه‌ای، میزان رادون را اندازه‌گیری کند. بعد از اندازه‌گیری میزان غلظت گاز رادون با استفاده از رابطه‌های مربوط به محاسبه میزان دوز مؤثر و مدت زمانی که یک شخص در مجاورت آب قرار دارد، دوز مؤثر دریافتی فرد محاسبه شد.

محاسبه آهنگ دوز مؤثر استنشاقی

دوز جذبی به‌مفهوم جذب مقداری انرژی معین در واحد جرم یک ماده می‌باشد، که بستگی به انرژی پرتو و طبیعت ماده جذب‌کننده دارد. اگر تأثیرات بیولوژیکی پرتوهای مختلف را نیز مدنظر قرار دهیم نتیجه کار ارائه دوز جذبی مؤثر (Health Effects: HE) می‌باشد که واحد آن سیورت است.

برای محاسبه آهنگ دوز مؤثر سالیانه در یک محیط بسته، لازم است به موارد ذیل توجه شود:

- فاکتور تبدیل دوز جذبی در هوا به دوز مؤثر که عبارت است از دوز مؤثری که به ازای واحد اکتیویته رادون، به ازای هر واپاشی یک هسته رادون در یک ثانیه، بر واحد حجم به یک شخص می‌رسد.
- فاکتور تعادل که مربوط به تعادل بین غلظت رادون و غلظت دخترانش در محیط بسته می‌باشد.
- فاکتور سکنی گزینی داخل ساختمان که مربوط به مدت زمان استنشاق گاز رادون در یک محیط بسته می‌شود.

بر اساس گزارش کمیته علمی تأثیر تابش‌های اتمی سازمان بین الملل (UNSCEAR) منتشر شده در سال ۲۰۰۰ میلادی، برای فاکتور تبدیل مقدار ۹ نانو سیورت بر ساعت به ازای هربکرل بر مترمکعب و برای فاکتور تعادل مقدار۰/۴، در نظر گرفته شده است. بنابراین آهنگ دوز

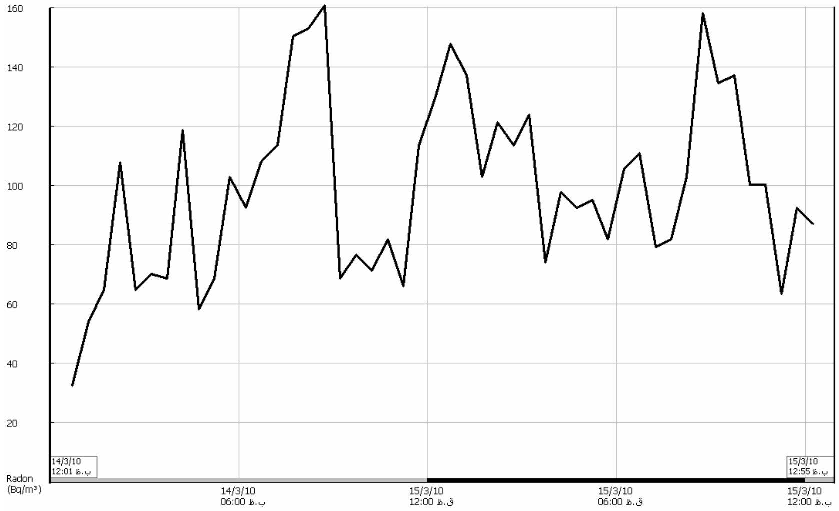
مؤثر در یک محیط بسته بر حسب میلی سیورت بر سال، به‌وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود(۱۳):

رابطه (۱) HE = CRn . F. T. D

در این رابطه CRn، غلظت رادون برحسب بکرل بر مترمکعب، F فاکتور تعادل، T زمان سکنی‌گزینی و D فاکتورتبدیل می‌باشند.

نتایج

نمودار تغییرات غلظت گاز رادون برای هوای درون فضای استخر مجموعه آب گرم جوشان بر حسب زمان از ساعت ۱۲ روز مورخه ۸۸/۱۲/۲۳ به مدت ۲۴ ساعت در شکل ۱ به کمک نرم افزار DURRIDGE Capture متعلق به دستگاه ترسیم شده است. تغییرات مشاهده شده در این مدت را می‌توان ناشی ازعوامل محیطی از جمله تغییرات دمایی و سرعت تبادل هوای داخل با هوای محیط در اثر منافذ موجود در دیواره‌ها و سقف درنظر گرفت. میانگین غلظت اندازه‌گیری شده Bq/m3 ۴/۹±۹۸/۳ به‌دست آمد.



شکل ۱. *تغییرات غلظت گاز رادون هوای داخل استخرمجموعه آب گرم جوشان نسبت به زمان در مدت ۲۴ ساعت*

برای یک فرد بومی که به‌طور معمول دوبار در هفته و هر بار مدت دو ساعت در محیط استخر مجموعه آب گرم جوشان می‌ماند می‌توان زمان سکنی‌گزینی را به‌صورت زیر به‌دست آورد:

T= ۲ × ۲× ۴۸ =۱۹۲ (ساعت در سال)

حال با توجه به رابطه (۱) آهنگ دوز مؤثر به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

HE=(۹۸/۳±۴/۹ -) ×۰/۴× ۱۹۲ ×۹ = ۰/۰۶±۰/۰۰۳ میلی‌سیورت در سال

همچنین برای کارکنان مربوط به این استخر اگر به‌طور متداول هر هفته ۲۰ ساعت در فضای استخر مشغول به‌کار باشند زمان سکنی‌گزینی در طول سال ۹۶۰ ساعت شده و آهنگ دوز مؤثر ۰/۰۱±۰/۳ میلی سیورت در سال به‌دست می‌آید. قابل ذکر است که برای فاکتور تبدیل بسته به نوع محاسبه و به کارگیری آن، مقادیر متغیری پیشنهاد شده است. بنا براین دوزهای به‌دست آمده نیز برای یک غلظت مشخص متفاوت می‌باشند و از این‌رو توجه به استاندارد

مورد استفاده برای محاسبه دوز مؤثر و بیان نتایج، اهمیت دارد (۱۴). با توجه به استاندارد آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده امریکا (Environment Protection Agency: EPA)، غلظت ۱۴۸ بکرل بر مترمکعب برای رادون داخل محیط بسته به‌عنوان آستانه خطر برای ابتلا به سرطان ریه معرفی شده است (۱۵). از این‌رو آستانه خطرپذیری برای دوز مؤثر دریافتی بر طبق این استاندارد برای شخصی که هشتاد درصد اوقات خود را داخل یک محیط بسته می‌گذراند ۳/۷ میلی‌سیورت در سال به‌دست می‌آید. بنابراین آهنگ دوز مؤثر به‌دست آمده برای افراد بومی و کارکنان به ترتیب در حدود یک‌صدم و هشت‌صدم مقدار آستانه خطر برای فضاهای بسته می‌باشد. همچنین بر طبق آخرین بیانیه انجمن فیزیک بهداشت و درمان (Health Physic Society: HPS) در سال ۲۰۰۹، در مورد استانداردهای ایمنی تابش برای عموم مردم، آستانه خطرپذیری دوز مؤثر برای منابع تابشی قابل کنترل، یک میلی‌سیورت در سال بیان شده است (۱۶). در این صورت دوز مؤثر دریافتی ناشی از استنشاق هوای داخل فضای استخر جوشان برای افراد معمولی و کارکنان به ترتیب در حدود شش‌صدم و سه‌دهم دوز پیشنهادی به‌عنوان آستانه خطرپذیری به‌دست می‌آید.

بحث ونتیجه‌گیری

با توجه به اندازه‌گیری غلظت گاز رادون به میزان ۹۸/۳±۴/۹ بکرل بر مترمکعب و به کاربردن رابطه معرفی شده از طرف کمیته UNSCEAR، آهنگ دوز مؤثر در اثر استنشاق هوای درون فضای استخر مجموعه آب گرم جوشان برای افراد بومی و کارکنان در مدت زمان بررسی به ترتیب ۰/۰۶±۰/۰۰۳ و ۰/۳±۰/۰۱ میلی‌سیورت در سال به‌دست می‌آید. با مقایسه این مقادیر با حدود اعلام شده به‌عنوان آستانه خطر از طرف EPA، نتیجه‌گیری می‌شود برای افرادی که به‌طور معمول از استخر آب این مجموعه آب گرم استفاده و هوای داخل فضای استخر را استنشاق می‌کنند و همچنین کارکنان استخر، دوز محاسبه شده کمتر از آستانه خطر بوده و در محدوده مقدار توصیه شده قرار دارد. ولی در کل لازم است با توجه به پیشنهادهای ارائه شده برای دوز مؤثر سالیانه از طرف HPS با لحاظ کردن مقدار دوز مؤثر به‌دست آمده، درکنار استفاده از این استخر نسبت به کاهش پرتوگیری از منابع تابشی قابل کنترل از جمله رعایت قوانین مربوط به قرار نگرفتن در معرض پرتوهای غیر ضروری در مراکز درمانی، صنعتی و آزمایشگاهی اقدام شود. از آنجائی‌که رابطه‌های مربوط به محاسبه آهنگ دوز مؤثر به روشنی داده شده‌اند، با محاسبه ساعات استنشاق هوای داخل فضای استخر، می‌توان دوز مؤثر را برای افراد دیگر که مدت متفاوتی را در محیط درونی این استخر می‌گذرانند نیز به‌دست آورد.

Effective Dose Rate of Radon Gas in Jooshan Hot Spring of Kerman Province

Hashemi SM., M.Sc.[1*], Negarestani A., Ph.D.[2]

1. Master of Nuclear Physics, International Center for Science, High Technology & Environmental Sciences, Kerman, Iran.
2. Assistant Professor of Nuclear Engineering, Kerman Graduate University of Technology, Kerman, Iran.

* Corresponding author, e-mail: hashemi.phy1@gmail.com

(Received: 3 April 2010 Accepted: 11 Nov. 2010)

Abstract

Background & Aims: Human beings are constantly exposed to different radiations that have always been recognized as a health hazard. Radon -222 and its daughter products are major sources of natural radiations and a significant total inhalation dose is related to them. Hence, the measurement of radon activity in the environment has gained an increasing importance. In this study, with the measurement of radon concentration, the indoor radon activity level and radon effective dose rate in Jooshan hot spring were determined.

Method: Concentration of radon gas inside the pool of Jooshan hot spring was measured using the active detector Rad7 type and the annual effective dose was estimated for individuals inhaling the indoor air of this pool for a specified period of time.

Results: Concentration of indoor air radon gas was 98.3±4.9 Bq/m3 and for a person staying in the pool twice a week and each time for two hours, the annual effective dose rate, due to the inhalation of radon, equals to 0.06±0.003 mSv/y.

Conclusion: Comparison of the obtained effective does with the standards of Environmental protection Agency and Health physics Society, it can be concluded that for individuals that normally use Jooshan hot spring pool, the resulted dose is in the recommended range.

Keywords: Radon concentration, Effective dose rate, Inhalation, Indoor, Jooshan hot spring

Journal of Kerman University of Medical Sciences, 2011; 18(3): 279-285

References

1. Lowe L.M, Chambers D.B. Comment on ICRP recommendations on radon and revised background doses from radon. *Environment International* 1996; 22(1): 1037-44.
2. Cember H. Introduction to Health Physics, 2nd ed., New York, Pergamon Press, 1983.
3. National Research Council: Report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation: Health Effects of Radon and Other Internally Deposited Alpha Emitters, BEIR IV, Washington D.C., National Academy Press, 1988; available at: www.nap.edu/books/0309037972/html.
4. Paulo S. R., Nemanb R., Hadler Neto J. C., Iunes P. J, Guedes S Balan A.M.OA, et al. Radon surveys in Brazil using CR-39. *Radiat Meas* 2005; 39(6): 657–60.
5. Oufni L., Misdaq M.A, Amrane M. Radon level and radon effective dose rate determination in Moroccan dwellings using SSNTD's. *Radiat Meas* 2005; 40(1): 118–23.
6. Finn L.S. Detection, measurement and gravitatinal radition. *Phys Rev* 1992; 46(12): 5236-49.
7. International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and at work. Annals of the ICRP. Publication 1993; 22(2), Oxford, Pergamon Press, available at: www.icrp.org/docs/histpol/.pdf

8. Harley N.H, Pasternack B.S. Alpha absorption measurements applied to lung dose from Radon daughters. *Health Phys* 1972; 23(6): 771-82.
9. Lundin F.E, Wagoner J.K, Archer V.E. Radon daughter exposure and respiratory cancer, qualitative and temporal aspects, joint Monograph No. 1, NIOSH and NIEHS, US Department of Health Education and Welfare, Public Health Service1971; Washington DC.
10. Sevc J, Kunz E, Placek V. Lung cancer in uranium miners and long term exposure to radon daughter products. *Health Phys* 1976; 30(6): 433-7.
11. Barr S.M, Ratanasathien B, Breen D, Ramingwong T, Sertsrivanit S. Hot springs and geothermal gradients in northern Thailand. *Geothermics* 1979; 8(2): 85-95.
12. U.S. Environmental Protection Agency. EPA Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols. Available at: http://www.epa.gov/radon/pubs/devprot3.html#2.
13. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation-United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, available at: www.unscear.org/docs/reports.
14. Chen J. A Review of Radon Doses. *Radiation Protection Management* 2005; 22(4): 27-31.
15. U.S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. Washington, DC: EPA; 402- R- 03- 003; 2003. Available at: http://www.epa.gov/radon/pdfs/402- r- 03- 003.pdf. Accessed 28 October 2009.
16. Health Physics Society. Ionizing radiation safety standards for the general public. Health Physics Society Position Statement. McLean, VA: HPS; 2009, Available at: http://hps.org/documents/publicdose ps005□3.pdf Accessed 28 October 2009.